

PROPOSITION D'UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION DES VARIATIONS DE LA BIOMASSE DE LA STRATE ARBUSTIVE SUR DES PARCELLES PATUREES

par Marie-Thérèse ARNAUD*
et Pascal THAVAUD**

Introduction

En région méditerranéenne la strate arbustive occupe souvent une grande place dans la végétation des terrains de parcours. En effet les milieux naturels consacrés à l'élevage, (ovin ou caprin), sont dans bien des cas : des formations ligneuses basses (maquis ou garrigues), des zones débroussaillées (pare-feux par exemple), des parcelles dégradées assez sèches plus ou moins envahies par les broussailles ou enfin des structures artificielles : vergers, forêts ouvertes (exploitées pour le bois), susceptibles d'être rapidement colonisées par des arbustes.

L'étude phytoécologique : évaluation des ressources, potentialités et suivi de la dynamique de la végétation doit donc nécessairement prendre en compte la strate arbustive qui peut représenter parfois la part la plus importante de l'alimentation du bétail prélevée sur le parcours. Elle joue un très grand rôle dans la dynamique de la végétation et dans son utilisation : concurrence pour la lumière avec le tapis herbacé, difficulté d'exploitation par embroussaillage, augmentation des risques d'inflammabilité des groupements etc.

Le seul suivi de la végétation herbacée est donc insuffisant et doit être complété par l'étude de l'évo-

lution de la biomasse de la strate arbustive permettant d'apprécier :

- la quantité de nourriture totale disponible dans chaque parc,
- la quantité de nourriture prélevée par les animaux,
- la contribution du troupeau à l'entretien des débroussailllements (intérêt économique),
- la vitesse d'installation ou d'évolution de la végétation arbustive dans chaque milieu.

Cette étude a été menée par le Centre d'études et de réalisations pastorales Alpes-Méditerranée (C.E.R.P.A.M.) dans le cadre d'un programme de recherche de références sylvopastorales entrepris principalement dans les départements du Var et des Bouches-du-Rhône. Elle avait pour objectif de trouver un moyen simple et efficace d'évaluation de la biomasse végétale consommée par un troupeau sur fruticées méditerranéennes.

1. — Approche d'une méthode de mesure et principe

Les différentes mesures les plus rapidement réalisables sur un arbuste ne sont pas toujours en corrélation très forte avec sa biomasse. En effet, le rapport biomasse — hauteur varie avec la forme de l'arbuste qui est plus ou moins étalée, dense ou étiolée en fonction des situations microtopographiques ou microclimatiques dans lesquelles il se trouve. C'est ainsi que le châtaignier prend dans les formes de jeunesse un port droit et très allongé avec un seul tronc et peu de branches (port en flèche) lorsqu'il pousse dans des

* **Marie-Thérèse ARNAUD**
Université d'Aix-Marseille III
Laboratoire de botanique et d'écologie méditerranéennes
13397 Marseille cedex 13

** **Pascal THAVAUD**
Technicien Forestier
Centre d'études et de réalisations pastorales
Alpes-Méditerranée
11, rue Pierre Clément — 83300 Draguignan

conditions très favorables à sa croissance (sol profond plus ou moins hydromorphe, ambiance fraîche). Par contre son port est très rameux avec une croissance en hauteur faible et une densité du feuillage plus importante à sa partie inférieure dans les stations les plus sèches.

Le volume d'un arbuste, de même que son recouvrement c'est-à-dire la surface dessinée par sa projection au sol sont difficiles à appréhender car de formes géométriques très diverses. D'autre part la plupart des espèces à grosses feuilles dont les animaux consomment essentiellement les feuilles (châtaignier, chêne blanc, cytise triflore etc.) ont un **recouvrement et une hauteur qui varient très peu** entre les différents passages du troupeau alors que la **biomasse prélevée** peut être importante.

Au contraire certaines espèces à rameaux et feuilles fines ont l'ensemble de leur masse foliaire consommée (ex = repousses de bruyères arborescentes et colycometes après débroussaillage). Dans ce cas il existe une bonne corrélation entre la hauteur moyenne des individus et leur poids (D. Feuillas, 1979). Les forestiers caractérisent d'ailleurs la productivité et la fertilité des stations forestières par le paramètre hauteur (Loi — Eichorn — Loi d'Assmann).

Il est également possible d'estimer dans ce cas le prélèvement sur ces repousses arbustives par la méthode dite « destructive ». Il s'agit de comparer le poids d'individus (marqués au préalable) et représentatifs des individus de la même espèce présente sur la parcelle **après pâturage** au poids d'individus de la même espèce et de même structure situés dans des cages témoins. Cette méthode est en pratique relativement lourde à appliquer.

Il est donc apparu important de définir une

méthode permettant :

— de trouver un rapport, densité — recouvrement avec la biomasse **unique** pour chaque espèce, donc indépendant de son milieu c'est-à-dire valable quelle que soit la forme de l'arbuste

— de pouvoir effectuer les mesures avant et après passage du troupeau **sur les mêmes individus** (préalablement marqués) sans faire appel à la comparaison avec un témoin, ceci pour deux raisons :

i. — résultat obtenu **sans extrapolation** donc plus **rigoureux**;

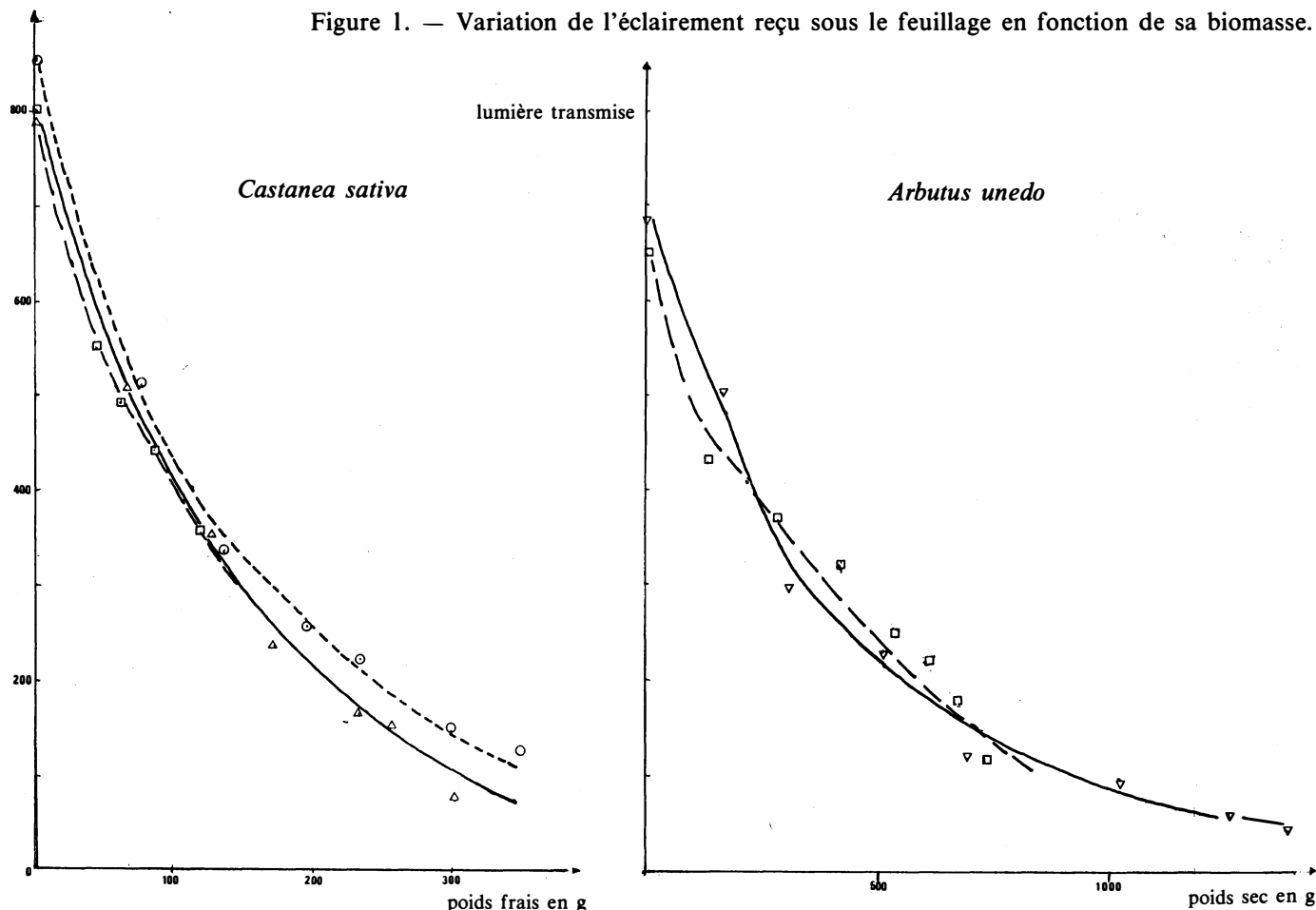
ii. — diminution du temps de travail : temps de mesure, recherche du témoin semblable au support des mesures, temps de construction de la cage de mise en défend.

Il est bien connu que les variations de la densité de la masse foliaire d'une plante se traduisent par des modifications de la répartition de l'énergie lumineuse dans le feuillage et donc par la quantité de lumière qui le traverse.

De nombreux travaux (Cf. bibliographie) basés sur l'étude du microclimat lumineux dans la végétation ont montré que : **l'intensité lumineuse sous un couvert forestier est liée au recouvrement arborescent** (Houssard, 1979) et que la lumière arrivant au niveau du sol sous une pelouse est fonction de la densité et de la biomasse du tapis herbacé.

On sait que l'absorption de la lumière par le feuillage dépend d'une part du **climat lumineux** au-dessus de la végétation (saison, heure de la journée, recouvrement arborescent, relief etc...), d'autre part des **caractéristiques de chaque espèce** (propriétés optiques et surface foliaire). Si I_0 est l'intensité de la lumière incidente et I = l'intensité de la lumière transmise on a :

Figure 1. — Variation de l'éclairement reçu sous le feuillage en fonction de sa biomasse.



$I = I_0 \cdot Kx$ surface foliaire pour une couche de feuille

K = coefficient d'extinction, est élevé à la puissance n pour n couches de feuilles.

L'extinction de la lumière dans un feuillage homogène suit la loi de Beer Lambert :

$$I = I_0 \cdot e^{-KF}$$

F = indice foliaire

La quantité de lumière transmise au travers de la végétation dépend donc de la **quantité** et de la **densité** du feuillage.

Il n'est pas de notre propos, ni de notre compétence, de faire une analyse approfondie de tous les facteurs dont dépendent les variations du microclimat lumineux dans la végétation; cet aspect a été traité de façon exhaustive par de nombreux auteurs (Cf. Bibliographie) en particulier par Chartier. Le but recherché ici n'est pas d'étudier les différents modèles possibles de transmission de la lumière au travers de différents types de feuillages par le calcul du rayonnement perçu par chaque feuille au niveau de chaque couche. Il s'agit de trouver une méthode (application) pratique basée sur ce principe à savoir : **l'existence d'une bonne corrélation entre biomasse** (fonction de la quantité et de la densité du feuillage) d'un arbuste et la **quantité de lumière qui le traverse** sous un éclairage constant.

On a donc recherché expérimentalement si cette relation existait et si elle pouvait être utilisée en s'accordant une marge d'erreur acceptable, erreur qui serait certainement apparue dans le calcul des valeurs théoriques. En effet lorsque le couvert n'est pas homogène la loi de Beer subit certaines modifications. Les premières mesures effectuées ont recherché à vérifier si deux facteurs influaient fortement sur les résultats obtenus :

- la position des couches de feuilles par rapport d'une part à la source de lumière et d'autre part au point des mesures;

- la répartition des feuilles (densité) dans le volume défini par l'arbuste.

L'objectif est d'obtenir une relation (droites ou abaques) définies par des équations de régression entre les deux facteurs = **rapport lumière transmise incidente et la biomasse**, pour chacune des espèces arbustives pâturées les plus abondantes dans la région étudiée. Une fois ces relations établies le phyto écologue n'aura alors qu'à effectuer une mesure à l'aide d'un **luxmètre avant et après le passage du troupeau sur plusieurs individus échantillons marqués** et à se reporter aux courbes de références pour avoir ainsi une **évaluation directe de la biomasse consommée**.

2. — Mesures effectuées et résultats obtenus

Une série de mesures a été effectuée sur 3 espèces communes dans les Maures :

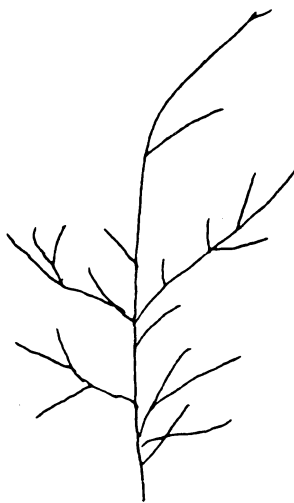
- le châtaignier (*Castanea sativa*) en Cévennes pendant l'été 84 (3 individus)

- l'arbousier (*Arbutus unedo*) sur le domaine de Valcros à la Londe-les-Maures en octobre 84 (2 individus)

- la cytise triflore (*Cytisus triflorus*) dans la forêt domaniale de La Verne en novembre 84 (2 individus).

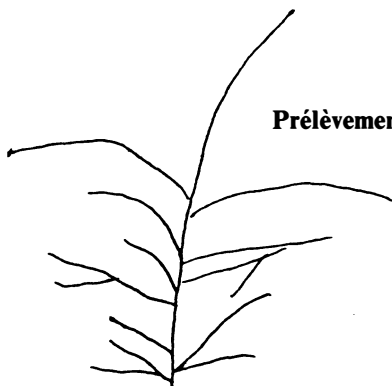
Etat initial : environ 4 strates de feuillage, densité forte dans la moitié inférieure de l'arbuste, rejet.

Prélèvement n° 1 : feuilles du haut
n° 2 : feuilles du bas (dernière couche)
n° 3 : feuilles du côté droit
n° 4 : de façon à ce que toutes les feuilles soient directement éclairées par la source de lumière il reste alors 1 couche de feuilles disposées sur environ 2 niveaux à mi-hauteur
n° 5 : un paquet de feuilles au centre
n° 6 : toutes les feuilles qui restent = arbre à nu



Etat initial : cépée de rejets de hauteur faible, très touffue vers le bas, seules les branches les plus hautes couvrent l'ensemble de la surface.

Prélèvement n° 1 : un peu partout, une feuille par-ci, par-là
n° 2 : un peu partout par petits paquets
n° 3 : au hasard
n° 4 : par les bords, l'arbuste est réduit à sa partie centrale avec plusieurs couches
n° 5 : réduction à une seule strate de feuilles en bas
n° 6 : tout le reste



Etat initial : jeune arbuste très élancé avec une masse foliaire peu importante répartie de façon plus ou moins régulière.

Dans tous les prélèvements, les feuilles ont été prises un peu partout sur l'arbuste de façon à ce que la densité soit toujours homogène.

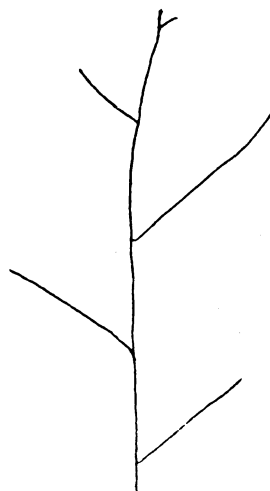


Figure 2. — Structures des individus de châtaigniers testés.

2.1. — Matériel utilisé

Il est représenté sur la figure 3.

L'arbuste échantillon est entouré par 4 piquets métalliques (les piquets de bois pouvant être détériorés par les animaux, en particulier par les caprins) fixes matérialisant un carré. La hauteur des piquets est constante pour une même espèce; elle varie d'une espèce à l'autre en fonction de la hauteur moyenne des individus (ex : 2 m pour l'arbousier, 1 m pour le chêne kermès). Lors des mesures, une bâche, servant à éliminer le rayonnement arrivant par les côtés, est enfilée autour des piquets. Cette bâche est constituée par une pièce cylindrique de 4 m \times 1,40 m de circonférence et élastique à 4 m, ce qui permet de l'adapter à des surfaces intermédiaires; elle se compose d'un tissu épais légèrement élastique et résistant au déchirement (face interne) doublé à l'extérieur par un plastique de serre noir d'une épaisseur de 4 μ (en plein soleil la lumière passant au travers du plastique n'était pas perceptible avec la lumière).

Afin d'homogénéiser la lumière incidente et transmise, 2 diffuseurs de lumière doivent être installés :

- l'un entre l'arbuste et la source de lumière (c'est-à-dire au sommet de la cage) permettant de régulariser l'éclairement perçu par la plante quelque soit l'angle existant entre celle-ci et la source de lumière (position du soleil, ombre des arbres etc...);

- l'autre entre la base du feuillage et les points de mesure, d'une part pour réduire le nombre des mesures à effectuer, et d'autre part pour diminuer les risques d'erreur dues au changement de position des points de mesure avant et après pâturage. Ces diffuseurs sont constitués de plastiques d'emballage à bulles d'air ayant l'avantage de ne pas absorber trop de lumière. Un petit diffuseur est également posé au-dessus de la cellule du luxmètre. L'ensemble du matériel est léger et très rapidement installé.

2.2. — Protocole expérimental et résultats obtenus

Le matériel de mesure étant installé, il suffit ensuite de mesurer la valeur de la lumière incidente (sous le premier diffuseur) et la quantité de lumière transmise (sous le second diffuseur). Ces données sont fournies par la mesure d'un certain nombre de points d'autant plus importants que le feuillage est hétérogène.

Sur chaque arbuste échantillon des feuilles et jeunes rameaux ont été prélevés. Avant le premier prélèvement et entre chacun d'eux la lumière au sol a été mesurée.

Les échantillons prélevés ont été pesés à l'état frais puis étuvés et pesés avec une précision au gramme.

Plusieurs tests ont été effectués en faisant varier un seul facteur à la fois.

Les simulations de broutage ont été effectuées ainsi :

Les arbustes de châtaignier ont été dépouillés de façon très différentes (cas extrêmes) afin :

- de voir si la situation des feuilles dans l'ensemble de feuillage intervenait de façon très sensible dans la distribution de la lumière. Il s'agissait de savoir si le rapport lumière transmise-biomasse ne variait pas entre chaque étape quelle que soit la situation et la biomasse (quantité de matière broutée) des feuilles prélevées;

- de recouper les cas, c'est ainsi que l'arbuste n° 2 se retrouve après le 5^e prélèvement (voir figure 2) dans

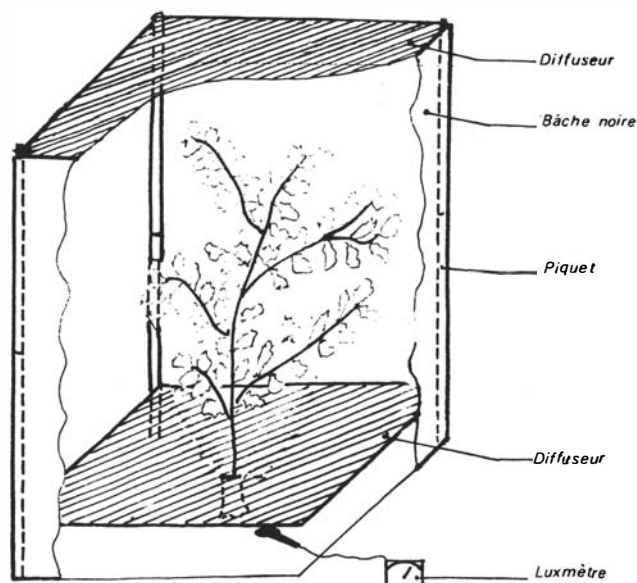


Figure 3. — Schéma du dispositif.

le même état que l'arbuste n° 1 après le prélèvement n° 4 mais avec les feuilles disposées sur un niveau différent. Ceci permet de tester la variable « distance de la couche de feuille à la source de lumière et au luxmètre ».

Pour les arbustes d'arbousier et de cytise les prélèvements ont été faits sur la base des résultats obtenus par les observations (C.E.R.P.A.M. et bibliographie) de comportement des animaux sur chaque espèce végétale.

Les 3 individus de châtaigniers ont été choisis très différents de port, de forme, de répartition et densité des feuilles sur la plante, afin de voir si ces variables, liées à la structure, intervenait de façon très significative sur le résultat obtenu.

Les 3 individus testés sont décrits sur la figure 2.

Les droites correspondantes sont tracées sur la figure 4 pour chaque espèce. L'évaluation de la quantité de matière sèche sera d'autant plus précise que la densité du feuillage est plus faible puisque l'on se trouve alors sur la partie linéaire de la courbe.

On a également fait varier l'intensité de la lumière incidente, et chercher le nombre de points nécessaires et suffisants à prendre en compte pour les mesures.

Pour le châtaignier (1^{re} espèce étudiée) la lumière transmise a été mesurée sur 58 points marqués au sol.

Pour les deux individus d'arbousier la valeur moyenne de l'intensité lumineuse au-dessus de l'arbuste (sous le diffuseur) était identique. Pour le premier individu 10 points de mesure ont été choisis : 2 au centre de la cage diamétralement opposés, puis 4 (1 au milieu de chaque côté) et 4 dans les coins. Ces 8 derniers points de mesure ayant été pris à égale distance du bord de la cage ils se situent donc sur 2 cercles de rayons différents par rapport au centre. On a noté lors de chaque mesure la valeur moyenne d'éclairement sur le point et la variation autour du point afin de tester l'efficacité du diffuseur et le rôle de la situation du point de mesure. Sur le deuxième individu seulement 5 points ont été suivis, 1 au centre et 4 sur les côtés choisis au hasard sur une surface d'environ 1 m² de chaque côté.

Les résultats montrent qu'il existe très peu de différence entre les courbes obtenues pour chaque

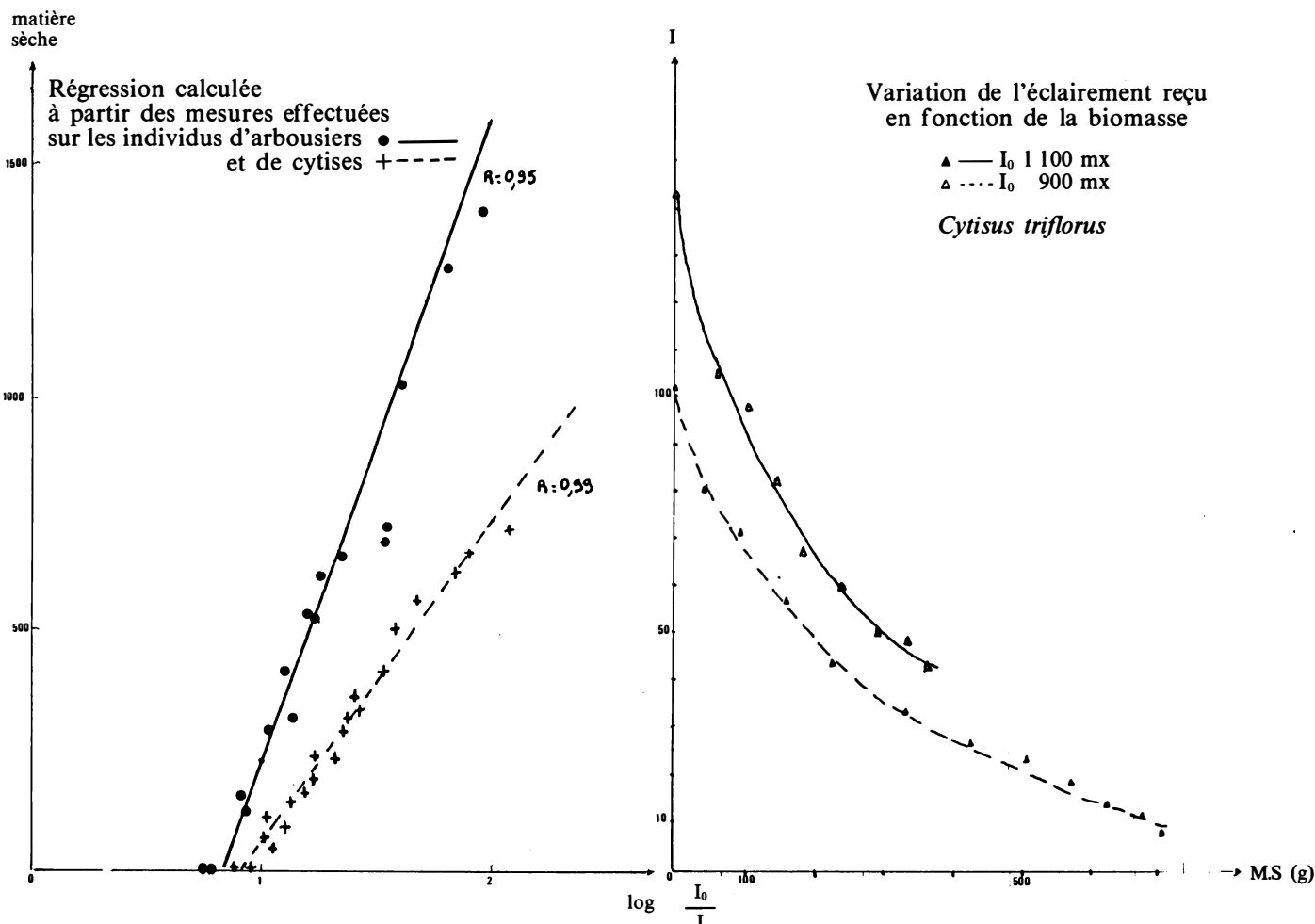


Figure 4

individu, il suffit donc de faire une **moyenne de quelques points** (5 au minimum = ce qui prend environ 2 minutes) dont la situation n'est pas nécessairement fixe pour apprécier la quantité de lumière transmise, ce qui facilite les mesures.

Enfin deux séries de mesures en faisant varier la lumière incidente ont été réalisées sur la cytise triflore (voir fig. 4).

Le tableau 1 et la figure 1 donnent les résultats obtenus pour chaque échantillon = valeur de l'éclairement mesuré, matière sèche.

On constate qu'il existe une **très forte corrélation** entre la **lumière transmise** et la **biomasse**, et ceci **quelle que soit la forme, la taille de l'arbuste et la façon de le dépouiller**, c'est ainsi que sur l'arbuste n° 1 une trouée de lumière très importante a été créée au 5^e prélèvement, le couvert était alors très hétérogène. Ceci peut être expliqué par le fait que sur un arbuste les feuilles se disposent de façon à avoir toutes le maximum de lumière possible. D'autre part les couches de feuilles sont peu nombreuses et rapprochées; les individus mesurés ont une hauteur inférieure à 2 m, puisqu'au delà ils ne peuvent être consommés par les ovins.

La courbe ayant une forme exceptionnelle, on a cherché la relation existant entre le $\log I/I_0$ (x) et le poids de matière sèche (y). Les équations obtenues sont les suivantes :

	INDIVIDU I		INDIVIDU II	
	Coefficient de corrélation	Equation de régression	Coefficient de corrélation	Equation de régression
<i>Arbutus unedo</i>	- 0,988	$y = 1\,178,23 x - 948,15$	- 0,957	$y = 1\,077,6 x - 825,43$
<i>Cytisus triflorus</i>	- 0,987	$y = + 650,9 x - 711,6$	- 0,989	$y = 679,9 x - 712,6$

	CHATAIGNIER						ARBOUSIER						CYTISE TRIFLORE					
	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3	I 1	I 2	I 3
Lumière incidente en lux	LT	PF	LT	PF	LT	PF	LT	PF	NS	LT	PF	NS	LT	NS	LT	NS	LT	NS
Sans prélèvement	75	300	130	350	353	120	42,3	2711	1389	114	1442	729	7,6	715,5	43,6	367		
Prélèvement 1	152	256	147	300	440	82	61	2466	1258	174	1323	668	11,14	673	48,3	337,5		
" 2	170	234	220	235	492	61	96,8	2036	1018	226	1219	618	13	625,5	50	291		
" 3	235	173	257	198	549	43	120,5	1393	690	252	1045	532	18,57	573	59,7	240,5		
" 4	355	130	334	138	800	0	233	1047	522	324	818	411	23,28	506,5	66,4	164		
" 5	410	67	515	79			291	630	306	370	572	278	26,12	428	81,7	145,5		
" 6	787	0	854	0			502	316	157	430	246	116	33,27	332,5	98,4	106		
" 7							680	0	0	650	0	0	43,71	231	105	59,5		
" 8													57,57	164,5	143,1	0		
" 9													70,57	90				
" 10													80,28	38,5				
" 11													101	0				

LT = Lumière Transmise (Lux)
 PF = Poids Frais en g
 MS = Matière sèche en g 30 % de matière sèche/matière verte
 In = Individu n

Tableau I. — Biomasse en fonction de l'éclairement incident et transmis au travers du feuillage d'échantillons de 3 espèces arbusives.

Conclusion

L'utilisation des propriétés optiques du feuillage permet :

— d'évaluer directement la quantité de matière sèche de la strate arbustive disponible et prélevée pour les 3 espèces testées : le châtaignier, l'arbousier, le cytise triflore, dont la structure et la forme des feuilles sont très différentes. Par ailleurs l'analyse foliaire de chacune de ces espèces donnant la valeur U.F.L. par unité de poids M.S. pourrait permettre d'évaluer directement la valeur qualitative de la quantité de matière consommée;

— d'estimer par un bilan économique le travail effectué par les animaux sur les parcelles débroussaillées (intérêt forestier) par le biais de la phytomasse prélevée par ha (c'est-à-dire de l'évolution de la combustibilité) et donc du coût de débroussaillage sur la même surface.

La méthode proposée permet :

1. — d'éliminer toutes les manipulations liées au travail de dépouillement des données en laboratoire puisqu'aucun échantillon n'est ramassé : le temps de travail se limite donc au temps passé sur le terrain pour la réalisation des mesures

2. — de ne pas utiliser de témoin

3. — de faire appel à un dispositif léger.

Toutefois il sera nécessaire de faire un plus grand nombre de mesures par espèce de façon d'une part à ce que l'équation moyenne de la courbe liant la biomasse à I/I_0 soit déterminée avec plus de précision, et d'autre part à évaluer le **pourcentage d'erreur maximum** que l'on peut commettre.

Cette méthode de mesure pourra certainement par la suite être améliorée et étendue à d'autres espèces arbustives. Elle est appliquée depuis 1984 dans le maquis des Maures et la garrigue à chêne kermès de la région d'Aix-en-Provence.

**M.-T.A.
P.T.**

Bibliographie sommaire

- Alexandre D.Y., 1982. — Pénétration de la lumière au niveau du sous-bois d'une forêt dense tropicale. *Ann. Sci. Forest.* 39, 4, p. 419-438.
- Bonhomme R., 1974. — Détermination de profils d'indices foliaires et de rayonnement dans un couvert végétal à l'aide de photographies hémisphériques faites *in situ*. Thèse Doct. Ing. Univ. Aix-Marseille.
- Chartier P., 1966. — Etude du microclimat lumineux dans la végétation. *Ann. Agron.* 17 : 571-602.
- Feuillas D., 1979. — Méthodes et techniques d'estimation de la biomasse végétale épigée des formations arbustives et leurs applications au maquis Corse dans la vallée du FANGO. DEA Université Paris Sud 52 p.
- Houssard C., 1979. — Etude de la structure de taillis de chêne pubescent (*Quercus pubescens* Willd). Thèse 3^e cycle Univ. des Sc. Languedoc-Montpellier. 177 p.
- Ledent J.F., 1974. — Une formule générale pour le calcul de la surface foliaire soumise au rayonnement solaire direct. *Biometrie Praximetric* XIV 3-4. p. 69 à 75.
- Warren Wilson J., 1959. — Influence of spatial arrangement of foliage area in grassland. In : the measurement of grassland productivity. J.D. Ivins ed. Londres p. 51-61.
- Methy M., 1977. — Estimation quantitative de la biomasse aérienne d'un peuplement de graminées par une méthode optique non destructive. *Oecol. Plant* 12,4. p. 395-401.
- Methy M., 1974. — Interception du rayonnement solaire par différents types de végétation dans la région méditerranéenne. Thèse U.S.T.L. Montpellier. 56 p. + annexes.
- Warren Wilson J., 1963. — Estimation of foliage denseness and foliage angle by inclined point quadrats. *Aust. J. Bot.* 11 p. 95-105.
- Warren Wilson J., 1961. — Influence of spacial arrangement of foliage area on light interception and pasture growth. 8 th. Int. Grassland Conger 1960, 275-9.
- Adams J.E., 1976. — Arkin C.E. 1977. — A light interception method for measuring row crop ground cover. *Soil Sci. Am. J.* 41, p. 789-792.